饲粮代谢能水平对汶上芦花产蛋鸡生产性能、血清生化指标和蛋品质的影响

王少琨[1] 张 帅[1*] 张 倩[2] 孟彦淼[3] 殷若新[4] 王炎辉[1] 王俊谦[1] 钟 光[1] 周华金[1] 宋志刚[1**]

（1.山东农业大学动物科技学院，泰安 271018；2.黄岛出入境检验检疫局，青岛 266555；3.河北省辛集市畜牧局，辛集 052360；4.山东省农业科学院家禽研究所，济南 250023）

摘　要：本试验旨在研究饲粮代谢能（ME）水平对产蛋期汶上芦花鸡生产性能、血清生化指标和蛋品质的影响，并建立代谢能需要量析因模型，确定产蛋期汶上芦花鸡的饲粮代谢能需要量。试验采用单因素完全随机设计，选取 40 周龄、体重相近的健康汶上芦花鸡 360 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。各组分别饲喂代谢能水平为 10.68、10.89、11.10、11.30 和 11.51 MJ/kg 的试验饲粮，其他主要营养水平保持一致。预试期 7 d，试验期 35 d。结果表明：1）饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的平均日采食量（ADFI）、平均日代谢能摄入量（ADMEI）、平均体重、代谢体重（$BW^{0.75}$）、产蛋数、产蛋率和平均日产蛋量（ADEM）均有显著影响（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高，ADFI、ADMEI、产蛋数、产蛋率和 ADEM 呈增加趋势，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时降低。随饲粮代谢能水平的升高，料蛋比呈降低趋势，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时增加。饲粮代谢能水平为 11.51 和 11.30 MJ/kg 时的平均体重和 $BW^{0.75}$ 显著高于代谢能水平为 11.10 MJ/kg 时（P<0.05）。2）随饲粮代谢能水平的升高，产蛋期汶上芦花鸡的血清葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）和总胆固醇（TCHO）含量均呈增加趋势。3）饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位和蛋黄比率有显著影响（P<0.05）。低能组（10.68、10.89 和 11.10 MJ/kg）的蛋白高度和哈氏单位显著高于高能组（11.30 和 11.51 MJ/kg）（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高，蛋黄颜色和蛋黄比率呈增加趋势，其中代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时的蛋黄颜色和蛋黄比率显著高于其他各代谢能水平时（P<0.05）。4）以 ADMEI 为因变量，以平均日增重（ADG）、ADEM 和 $BW^{0.75}$ 为自变量，拟合 41~45 周龄汶上芦花鸡饲粮代谢能

收稿日期：2017-03-08
基金项目：山东省现代农业产业技术体系家禽创新团队营养与饲料岗位（SDAIT-011-08）
作者简介：王少琨（1992—），男，山东青岛人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 276728284@qq.com
*同等贡献作者
**通信作者：宋志刚，教授，博士生导师，E-mail: naposong@qq.com

需要量的析因模型为：$ADMEI=0.88ADG+10.63ADEM+476.40BW^{0.75}$（$R^2$=0.982 5，$P$<0.05）。满足 41~45 周龄汶上芦花鸡最佳生产性能的适宜饲粮代谢能需要量为 11.29 MJ/kg。

关键词：汶上芦花鸡；生产性能；血清生化指标；代谢能水平

中图分类号：S831

能量在家禽饲粮与营养生理中占据重要地位。能量不足会使家禽生长发育受阻，降低生产效率；能量过剩则不仅造成浪费，还易引发疾病。因此许多科研工作者都致力于蛋鸡合理能量摄入量的研究。研究表明，在一定范围内，随饲粮能量水平的升高，蛋鸡采食量降低，产蛋数、产蛋量增加，料蛋比降低[1-2]。也有报道认为，饲粮能量水平对蛋鸡产蛋率、日产蛋量和料蛋比的影响不显著[3]。

近年来，科研工作者对地方鸡的营养需要量进行了大量研究[4-7]。不同品种、饲养方式、环境条件和生理阶段的产蛋鸡饲粮能量需要量不同。汶上芦花鸡起源于山东省汶上县，是肉蛋兼用型优良地方家禽品种，以其悠久的历史文化、独特的羽色与体型、高营养的肉蛋产品而驰名中外。目前，关于汶上芦花鸡能量需要量的研究尚未见报道，能量水平对其的影响尚不明确。本试验旨在研究饲粮代谢能（ME）水平对产蛋期汶上芦花鸡生产性能、血清生化指标和蛋品质的影响，获得代谢能需要量参数，为汶上芦花鸡饲养标准的制定以及生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

试验采用单因素完全随机设计，选取 40 周龄、体重相近的健康汶上芦花鸡 360 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。各组分别饲喂代谢能水平为 10.68、10.89、11.10、11.30 和 11.51 MJ/kg 的试验饲粮，其他主要营养水平保持一致。预试期 7 d（40 周龄），试验期 35 d（41~45 周龄）。

1.2 试验饲粮

试验采用玉米–豆粕型饲粮，参考《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004），并结合企业生产实际配制试验饲粮。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目	代谢能水平 Metabolizable energy level/(MJ/kg)				
Items	10.68	10.89	11.10	11.30	11.51
原料 Ingredients					
玉米 Corn	60.30	63.10	65.00	63.80	62.50
豆粕 Soybean meal (CP 43%)	20.60	21.20	21.80	22.00	22.20
麸皮 Wheat bran	6.10	2.70			
豆油 Soybean oil			0.20	1.20	2.30
石粉 Limestone	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
预混料 Premix[1)]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.68	10.89	11.10	11.30	11.51
粗蛋白质 CP	15.60	15.60	15.60	15.60	15.60
钙 Ca	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
有效磷 AP	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
赖氨酸 Lys	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74
蛋氨酸 Met	0.38	0.38	0.39	0.39	0.38

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets:VA 6 000 IU，VD_3 2 500 IU，VB_1 1.75 mg，VB_2 5.5 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.18 mg，VE 25 mg，VK_3 2.25 mg，Fe 75 mg，Cu 7.5 mg，Zn 60 mg，Mn 60 mg，Se 0.15 mg，生物素 biotin 0.14 mg，叶酸 folic acid 0.8 mg，烟酸 nicotinic acid 34 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，植酸酶 phytase 400 U，胆碱 chloride 350 mg，食盐 NaCl 3.7 g。

2)营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

采用舍内 2 层笼养，自然光照加人工补光，每天光照时间为 16 h，自由采食和饮水。采用常规饲养管理和免疫程序。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生产性能

试验期间，以重复为单位记录每天的产蛋数、产蛋量、不合格蛋数，计算产蛋率、不合格蛋率、平均蛋重、平均日产蛋量（ADEM）。每周以重复为单位结料，计算平均日采食量（ADFI）、平均日代谢能摄入量（ADMEI）、料蛋比。试验开始时每重复选取 4 只试验鸡标号后称重，以后每 2 周称重 1 次，计算平均日增重（ADG）。

1.4.2 血清生化指标

试验结束时，每个重复随机选取 2 只试验鸡，翅静脉采血，3 000 r/min 离心 10 min，分离血清，用全自动生化分析仪（7170A，日本 HITACHI 公司）测定血清葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)、低密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL)含量。

1.4.3 蛋品质

试验结束时，每个重复随机挑选 5 枚鸡蛋，立即测定蛋品质。电子天平称蛋重；游标卡尺测定蛋的长径、短径，计算蛋形指数；蛋壳厚度测量仪（ETG–1061 型，日本 Robotmation 公司）测定蛋壳厚度；蛋壳强度测试仪（EFG–0503 型，日本 Robotmation 公司）测定蛋壳强度；多功能蛋品质检测仪（EMT–5200 型，日本 Robotmation 公司）测定蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位；分蛋器分离蛋黄，蛋黄、蛋壳称重，计算蛋黄比率、蛋壳比率。

1.5 数据处理

试验数据采用SAS 9.2软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，P<0.05为差异显著，各组数据均以“平均值±标准误”表示。逐步回归分析法建立多元线性回归模型，并进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡生产性能的影响

由表 2 可知，饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的 ADFI、ADMEI、平均体重、代谢

体重（$BW^{0.75}$）、产蛋数、产蛋率和 ADEM 均有显著影响（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高 ADFI 呈增加趋势，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时 ADFI 显著降低（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高 ADMEI 也呈增加趋势，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时 ADMEI 降低。饲粮代谢能水平为 11.51 和 11.30 MJ/kg 时的平均体重和 $BW^{0.75}$ 显著高于代谢能水平为 11.10 MJ/kg 时（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高，产蛋数、产蛋率和 ADEM 呈增加趋势，当饲粮代谢能水平为 11.30 MJ/kg 时达到最大值，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时显著降低（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高平均蛋重呈增加趋势。随饲粮代谢能水平的升高料蛋比呈降低趋势，当代谢能水平为 11.30 MJ/kg 时达到最小值，但当代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时料蛋比增加。综上所述，饲粮代谢能水平为 11.30 MJ/kg 时，产蛋期汶上芦花鸡的 ADFI、ADMEI、产蛋数、产蛋率和 ADEM 最高，料蛋比最低，生产性能最佳。

表 2　饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of dietary metabolizable energy level on performance of *Wenshang Luhua* hens during laying period

项目	代谢能水平 Metabolizable energy level/(MJ/kg)					*P* 值
Items	10.68	10.89	11.10	11.30	11.51	*P*-value
平均日采食量 ADFI/g	89.64±1.04^{ab}	89.56±1.84^{ab}	91.54±1.46^{ab}	92.78±1.02^{a}	87.58±1.05^{b}	0.037 5
平均日代谢能摄入量 ADMEI/kJ	957.02±11.10^{c}	974.94±20.01^{bc}	1 015.68±16.16^{ab}	1 049.01±11.51^{a}	1 008.44±12.10^{ab}	0.002 4
平均体重 Average weight/kg	1.56±0.03^{ab}	1.56±0.03^{ab}	1.52±0.06^{b}	1.64±0.02^{a}	1.66±0.06^{a}	0.034 4
代谢体重 $BW^{0.75}$/kg	1.39±0.02^{ab}	1.39±0.02^{ab}	1.37±0.04^{b}	1.45±0.01^{a}	1.46±0.04^{a}	0.033 6
平均日增重 ADG/g	2.42±0.97	2.28±1.06	1.14±1.56	2.78±1.39	4.13±1.69	0.556 1
产蛋数 Egg number	17.49±0.55^{c}	18.23±0.72^{bc}	19.76±0.57^{ab}	20.49±0.80^{a}	17.15±0.81^{c}	0.008 9

产蛋率 Laying rate/%	56.41±1.78[c]	58.79±2.31[bc]	63.75±1.84[ab]	66.08±2.60[a]	55.32±2.61[c]	0.008 9
平均蛋重 Average egg weight/g	49.59±0.77	50.00±0.27	49.57±0.48	50.42±0.30	50.74±0.49	0.387 4
平均日产蛋量 ADEM/g	28.00±1.12[c]	29.41±1.22[bc]	31.56±0.70[ab]	33.31±1.24[a]	28.06±1.28[c]	0.009 7
不合格蛋率 Unqualified egg rate/%	1.32±0.28	1.33±0.32	1.22±0.25	1.16±0.21	1.81±0.33	0.554 6
料蛋比 Feed/egg	3.22±0.11[a]	3.07±0.10[ab]	2.91±0.09[ab]	2.83±0.08[b]	3.15±0.17[ab]	0.124 5

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），相邻字母表示差异显著（P<0.05），相间字母表示差异极显著（P<0.01）。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), and with adjacent letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with alternate letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡血清生化指标的影响

由表 3 可知，饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的血清生化指标均有一定的影响，随饲粮代谢能水平的升高，血清 GLU、TG、TCHO 含量均呈增加趋势。

表 3 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡血清生化指标的影响

Table 3 Effects of dietary metabolizable energy level on biochemical indexes in serum of *Wenshang Luhua* hens during laying period mmol/L

项目	代谢能水平 Metabolizable energy level/(MJ/kg)					P 值
Items	10.68	10.89	11.10	11.30	11.51	P-value
葡萄糖 GLU	12.20±0.25[b]	12.74±0.22[a]	12.84±0.17[a]	12.90±0.17[a]	12.76±0.15[a]	0.054 3
甘油三酯 TG	8.58±0.89	8.62±0.63	9.69±0.66	10.70±1.00	11.32±1.16	0.090 2

总胆固醇 TCHO	2.39±0.20[ab]	2.20±0.18[b]	2.53±0.13[ab]	2.70±0.18[ab]	2.90±0.25[a]	0.095 3
高密度脂蛋白 LDL	0.45±0.14	0.46±0.05	0.53±0.07	0.46±0.10	0.38±0.12	0.892 8
低密度脂蛋白 HDL	0.73±0.08	0.58±0.06	0.64±0.04	0.67±0.03	0.71±0.05	0.324 7

2.3 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡蛋品质的影响

由表 4 可知，饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位和蛋黄比重有显著影响（P<0.05）。低能组（10.68、10.89 和 11.10 MJ/kg）的蛋白高度和哈氏单位显著高于高能组（11.30 和 11.51 MJ/kg）（P<0.05）。随饲粮代谢能水平的升高，蛋黄颜色和蛋黄比率呈增加趋势，其中代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时的蛋黄比率显著高于其他各代谢能水平时（P<0.05），代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时的蛋黄颜色极显著高于代谢能水平为 10.68 MJ/kg 时（P<0.01），显著高于其他各代谢能水平时（P<0.05）。

表 4 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡蛋品质的影响

Table 4 Effects of dietary metabolizable energy level on egg quality of *Wenshang Luhua* hens during laying period

项目	代谢能水平 Metabolizable energy level/(MJ/kg)					*P* 值
Items	10.68	10.89	11.10	11.30	11.51	*P*-value
蛋重 Egg weight/g	50.61±0.73	50.88±0.81	51.11±0.79	51.84±0.66	51.83±0.66	0.172 0
蛋形指数 Egg shape index	1.34±0.01	1.33±0.01	1.32±.01	1.30±0.05	1.35±0.01	0.579 2
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	31.04±0.54	29.89±0.63	29.66±0.60	29.78±0.57	29.94±0.50	0.423 6
蛋壳强度 Eggshell strength/(kg/cm^2)	3.75±0.11	4.01±0.12	3.95±0.11	3.93±0.13	4.02±0.10	0.457 1
蛋白高度 Albumen height/mm	5.44±0.16[a]	5.43±0.15[a]	5.51±0.11[a]	4.94±0.14[b]	5.02±0.14[b]	0.009 0
蛋黄颜色 Yolk color	8.36±0.11[c]	8.50±0.10[bc]	8.56±0.10[bc]	8.77±0.14[b]	9.19±0.15[a]	<0.000 1

哈氏单位 Haugh unit	75.85±1.14[a]	75.80±1.13[a]	76.57±0.77[a]	71.34±1.09[b]	72.07±1.15[b]	0.000 6
蛋黄比率 Percentage of yolk/%	31.86±0.32[b]	31.84±0.39[b]	32.10±0.42[b]	32.30±0.28[b]	33.56±0.32[a]	0.002 9
蛋壳比率 Percentage of eggshell/%	10.57±0.13	10.41±0.14	10.55±0.16	10.43±0.14	10.50±0.15	0.925 7

2.4 41~45 周龄汶上芦花鸡饲粮代谢能需要量

以 ADMEI 为因变量，以 ADG、ADEM 和 $BW^{0.75}$ 为自变量，拟合 41~45 周龄汶上芦花鸡饲粮代谢能需要量的析因模型（表 5）。综合饲粮代谢能水平对 41~45 周龄汶上芦花鸡生产性能的影响，根据析因模型，选择生产性能最优组的 ADG、ADEM 和 $BW^{0.75}$，得出 41~45 周龄汶上芦花鸡的饲粮代谢能需要量为 11.29 MJ/kg。

表 5　41~45 周龄汶上芦花鸡的饲粮代谢能需要量

Table 5　Dietary metabolizable energy requirements of *Wenshang Luhua* hens aged from 41 to 45 weeks

析因模型 Factorial model	R^2	*P* 值 *P*-value	饲粮代谢能需要量 Dietary metabolizable energy requirements/(MJ/kg)
$ADMEI=0.88ADG+10.63ADEM+476.40BW^{0.75}$	0.982 5	0.004 8	11.29

3 讨　论

3.1 饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡生产性能的影响

家禽有“为能而食”的特点，能根据饲粮能量水平本能的调节采食量[8]。研究表明，饲粮能量水平在一定范围内变化对小型蛋鸡的采食量无显著影响，但饲粮能量水平过高则会显著降低采食量[9]。本试验结果验证了上述观点，当饲粮代谢能水平不超过 11.30 MJ/kg 时，产蛋期汶上芦花鸡的采食量无显著变化，但当饲粮代谢能水平达到 11.51 MJ/kg 时采食量显著降低。

在产蛋高峰期，必须采用能量水平较高的饲粮才能满足小型蛋鸡维持高产蛋率对能量的

需求。随着饲粮能量水平的升高，蛋鸡的产蛋率呈增加趋势，但饲粮能量水平过高会导致产蛋率降低，原因可能是蛋鸡长期摄入过高的能量，导致体内脂肪沉积过多，从而影响了产蛋率。本试验结果与上述研究结果相一致，当饲粮代谢能水平不超过 11.30 MJ/kg 时，产蛋期汶上芦花鸡的产蛋率随饲粮代谢能水平的升高而增加，但当饲粮代谢能水平达到 11.51 MJ/kg 时产蛋率反而降低；代谢能水平为 11.51 MJ/kg 时产蛋鸡的体重最高，产蛋率却最低；说明高能量水平饲粮加剧了脂肪的累积，降低了产蛋率。

产蛋鸡的能量需要分为增重需要、维持需要和产蛋需要 3 部分，本试验以 ADG、$BW^{0.75}$ 和 ADEM 分别代表这 3 个部分建立析因模型。从模型中可以看出，汶上芦花鸡代谢能摄入量主要用于维持需要和产蛋需要，产蛋期汶上芦花鸡的 ADG 较低，用于增重需要的代谢能也较少。

3.2　饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡血清生化指标的影响

血清生化指标可以准确反映动物体内脂肪、蛋白质、碳水化合物等营养物质的代谢状况。家禽血清 TG 和 TCHO 含量可以影响脂类的沉积与代谢，反映机体的血脂水平。当机体摄入较高能量时，肝脏开始合成 TG，血液 TG 含量增加，TG 含量增加说明脂肪的合成增加。Mabray 等[10]研究发现，饲粮能量水平对肉鸡血液 TG 含量有显著影响，血液 TG 含量随饲粮能量水平的升高而增加；官丽辉等[11]对育成期塞北乌骨鸡的研究发现，母鸡血清 TG 含量随饲粮能量水平的升高而增加，公鸡则下降；这与本试验结果相一致，说明血清 TG 含量与饲粮能量水平和家禽对脂类物质的代谢有关，与体重变化引起的脂肪沉积有一定的相关性。蒋守群等[12]以岭南黄肉鸡为试验对象，研究发现肉鸡血清中 TCHO 含量随饲粮能量水平的升高而降低；Chen 等[13]发现饲粮中添加 3%豆油会使羔羊血清中 TCHO 含量增加；本试验研究发现，产蛋期汶上芦花鸡血清 TCHO 含量随饲粮能量水平的升高而增加，研究结果的不同可能是由于畜禽品种、年龄以及能量来源的差异所导致。

血液葡萄糖含量与动物能量摄入量有关，受机体脂类代谢强度的影响，脂类代谢旺盛会导致糖异生作用加强。多乐等[14]用不同能量水平的饲粮饲喂石岐杂鸡发现，高能量水平饲粮能显著提高血清 GLU 水平。范春鹤[15]也发现随饲粮能量水平的升高肉鸡血液 GLU 含量有增加的趋势。本试验研究结果与上述研究结果相一致。

3.3　饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡蛋品质的影响

蛋重是衡量蛋品质的重要指标，与种蛋合格率、种蛋孵化率有直接的关系。冉于明[16]认为，最大蛋重可以通过适宜的蛋能比获得；杨福有等[17]也发现，过高或过低的饲粮能量水平都会导致蛋重降低。March 等[18]研究发现，亚油酸是禽类的必须脂肪酸，参与脂肪合成代谢，对蛋黄重和蛋重均有显著影响。本试验中，饲粮的能量水平主要由大豆油的含量来调节，大豆油中富含亚油酸，这可能是高能组汶上芦花鸡的蛋重高于低能组的原因。

蛋黄是鸡蛋风味物质的载体，也是消费者广泛重视的蛋品质指标之一。尹靖东[19]研究发现饲粮能量水平可以影响蛋黄的形成。Yuan 等[20]发现，饲粮能量水平与产蛋期肉种鸡蛋黄相对重呈显著正相关，与蛋清相对重呈显著负相关。蛋黄颜色是由脂溶性色素沉积到蛋黄而使蛋黄着色，饲粮中添加油脂能增加家禽对脂溶性色素的吸收，从而促进色素在蛋黄的沉积。张婧[21]对产蛋后期肉种鸡的研究发现，增加饲粮能量水平能显著提高蛋黄颜色。本试验研究发现，饲粮代谢能水平对产蛋期汶上芦花鸡的蛋黄颜色和蛋黄比率有显著影响，随饲粮代谢能水平的升高，蛋黄颜色和蛋黄比率均增加，与上述研究结果相一致。

哈氏单位是衡量鸡蛋品质和新鲜程度的重要指标。Yuan 等[20]认为饲粮能量水平对哈氏单位无显著影响；Gunawardana 等[22]认为饲粮能量水平对蛋白高度无显著影响。这与本研究结果不一致，原因有待进一步研究验证。

4 结　论

① 饲粮代谢能水平影响了汶上芦花鸡的生产性能、血液生化指标和蛋品质。在一定范围内，随饲粮代谢能水平的升高，产蛋期汶上芦花鸡的生产性能升高，但饲粮代谢能水平过高反而会降低其生产性能；随饲粮代谢能水平的升高，血液中脂类物质的代谢水平升高；随饲粮代谢能水平的升高，蛋黄颜色和蛋黄比率增加，蛋白高度降低。

② 满足 41~45 周龄汶上芦花鸡最佳生产性能的适宜饲粮代谢能水平为 11.29 MJ/kg。

参考文献:

[1] WU G,LIU Z,BRYANT M M,et al.Performance comparison and nutritional requirements of five commercial layer strains in phase Ⅳ [J].International Journal of Poultry Science,2005,4(4):182–186.

[2] LEESON S,SUMMERS J D,CASTON L J.Response of layers to low nutrient density diets[J].The Journal of Applied Poultry Research,2001,10(1):46–52.

[3] 王昌杰,魏玉梅,赵丽红,等.不同能量水平对 25~41 周龄蛋鸡生产性能的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(3):65–68.

[4] 袁超,徐志刚,蒋媛婧,等.新杨绿壳蛋鸡育成期能量和蛋白质的需要量[J].动物营养学报,2013,25(4):735–742.

[5] 欧阳克蕙,王文君,林树茂,等.不同营养水平对崇仁麻鸡不同阶段生产性能和胴体化学组成的影响[J].中国畜牧杂志,2004,40(3):27–29.

[6] 沈立权,朱江宁,张康宁.不同能量水平的日粮对雪山鸡生长性能的影响[J].畜牧与饲料科学,2005,26(5):4–6.

[7] 张拥军,石素梅.日粮营养水平对狼山鸡肉用性能的影响[J].畜牧兽医科技信息,2007(12):103–104.

[8] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2008.

[9] 宁中华,郭明霏,王忠,等.饲料代谢能水平对农大 3 号小型蛋鸡生产性能的影响[J].山东家禽,2004(9):3–6.

[10] MABRAY C J,WALDROUP P W.The influence of dietary energy and amino acid levels on abdominal fat pad development of the broiler chicken[J].Poultry Science, 1981,60(1):151-159.

[11] 官丽辉,刘海斌,张立永,等.日粮不同能量水平对育成鸡体增质量、血液生化指标及内脏器官发育的影响[J].中国兽医学报,2014,34(2):350–356.

[12] 蒋守群,丁发源,林映才,等.能量水平对 0~21 日龄岭南黄肉鸡生产性能、胴体品质和体组成的影响[J].中国家禽,2003,7(增刊 1):83–86.

[13] CHEN X J,MAO H L,LIN J,et al.Effects of supplemental soybean oil and vitamin E on carcass quality and fatty acid profiles of meat in *Huzhou* lamb[J].Acta Agriculturae Scandinavica：Animal Science,2008,58(3):129–135.

[14] 多乐,莫子艺,孔鹏,等.不同能量和蛋白质水平日粮对石岐杂鸡免疫器官发育及血液生化指标的影响[J].中国饲料,2011(4):36–38.

[15] 范春鹤.日粮能量水平对肉仔鸡生产性能、肉品质及血液生理生化指标影响研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[16] 呙于明.家禽营养[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2004.

[17] 杨福有,薛雅蓉,赵天勇.不同能量水平对产蛋鸡生产性能的影响[J].陕西农业科学,1993(3):22–23.

[18] MARCH B E,MACMILLAN C.Linoleic acid as a mediator of egg size[J].Poultry Science,1990,69(4):634–639.

[19] 尹靖东.类黄酮对鸡蛋胆固醇及其氧化物形成的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2000.

[20] YUAN K,WU G B,BRYANT M M,et al.Effect of dietary energy on performance,egg component,egg solids,and egg quality in Bovans White and Dekalb White hens during phase 2[J].The Journal of Poultry Science,2009,46(1):30–34.

[21] 张婧.不同能量水平饲粮对产蛋后期肉种鸡蛋品质和肉品质影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2014.

[22] GUNAWARDANA P,ROLAND D A,BRYANT M M.Effect of energy and protein on performance,egg components,egg solids,egg quality,and profits in molted Hy-Line W-36 Hens[J].The Journal of Applied Poultry Research,2008,17(4):432–439.

Effects of Dietary Metabolizable Energy Level on Performance, Biochemical Indexes in Serum and Egg Quality of *Wenshang Luhua* Laying Hens

WANG Shaokun[1] ZHANG Shuai[1*] ZHANG Qian[2] MENG Yanmiao[3] YIN Ruoxin[4]
WANG Yanhui[1] WANG Junqian[1] ZHONG Guang[1] ZHOU Huajin[1] SONG Zhigang[1**]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Shandong Agricultural University*, *Tai'an* 271018, *China*; 2. *Huangdao Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao* 266555, *China*; 3. *Xinji Animal Husbandry Bureau of Hebei Province, Xinji* 052360, *China*; 4. *Poultry Institute*, *Shandong Academy of Agricultural Science*, *Ji'nan* 250023, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary metabolizable energy level on performance, biochemical indexes in serum and egg quality of *Wenshang Luhua* hens

---

*Contributed equally
**Corresponding author, professor, E-mail: naposong@qq.com （责任编辑　李慧英）

during laying period, and establish factorial model of metabolizable energy requirements to define dietary metabolizable energy requirements of *Wenshang Luhua* hens during laying period. Three hundred and sixty 40-week-old healthy *Wenshang Luhua* hens with similar body weight were randomly allocated to five groups with six replicates per group and twelve hens per replicate according a single-factor completely random design. The hens were fed diets with 10.68, 10.89, 11.10, 11.30, 11.51 MJ/kg metabolizable energy levels, respectively, while the other major nutrient levels were the same. The pretest period lasted for 7 days and the experiment period lasted for 35 days. The results showed as follows: 1) dietary metabolizable energy level had significant effects on average daily feed intake (ADFI), average daily metabolizable energy intake (ADMEI), average weight, metabolic weight ($BW^{0.75}$), egg number, laying rate and average daily egg mass (ADEM) of *Wenshang Luhua* hens during laying period ($P<0.05$). ADFI, ADMEI, egg number, laying rate and ADEM showed an increasing tendency with the increase of dietary metabolizable energy level, but decreased when metabolizable energy level was 11.51 MJ/kg. The ratio of feed to egg showed a decreasing tendency with the increase of dietary metabolizable energy level, but increased when metabolizable energy level was 11.51 MJ/kg. The average weight and $BW^{0.75}$ when dietary metabolizable energy level were 11.51 and 11.30 MJ/kg were significantly higher than that when metabolizable energy level was 11.10 MJ/kg ($P<0.05$). 2) The contents of glucose (GLU), triglyceride (TG) and total cholesterol (TCHO) in serum of *Wenshang Luhua* hens during laying period showed an increasing tendency with the increase of dietary metabolizable energy level. 3) Dietary metabolizable energy level had significant effects on albumen height, yolk color, Haugh unit and percentage of yolk of *Wenshang Luhua* hens during laying period ($P<0.05$). Albumen height and Haugh unit in low energy groups (10.68, 10.89 and 11.10 MJ/kg) were significantly higher than that in high energy groups (11.30 and 11.51 MJ/kg) ($P<0.05$). Yolk color and percentage of yolk showed an increasing tendency with the increase of dietary metabolizable energy level, and yolk color and percentage of yolk when metabolizable energy level was 11.51 MJ/kg were significantly higher than that when the other metabolizable energy levels ($P<0.05$). 4) Given ADMEI as the dependent variable, ADG, ADEM and $BW^{0.75}$ as the independent variables,

the factorial model of dietary metabolizable energy requirements of *Wenshang Luhua* hens age from 41 to 45 weeks was $ADMEI=0.88ADG+10.63ADEM+476.40BW^{0.75}$ ($R^2=0.982\,5$，$P<0.05$). In conclusion, suitable dietary metabolizable energy requirements for the optimal performance of *Wenshang Luhua* hens aged from 41 to 45 weeks is 11.29 MJ/kg.

Key words: *Wenshang Luhua* hens; performance; biochemical indexes in serum; metabolizable energy level